

© Г.А. Белозёров, 2012 г.
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург
belaz@olympus.ru

© А.Г. Попов, 2012 г.
Институт физики металлов УрО РАН,
г. Екатеринбург

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ТЕКСТУРОВАНИЯ ПОРОШКОВ Nd-Fe-B, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТЕАРАТА ЦИНКА, В ПОСТОЯННОМ И ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Спеченные постоянные магниты (ПМ) системы Nd-Fe-B с рекордными значениями максимального энергетического произведения $(BH)_{\max}$ интенсивно применяются в устройствах современной техники: жестких дисках персональных компьютеров и ноутбуков, промышленных электромоторах и генераторах, гибридных автомобилях, акустических системах сотовых телефонов, множестве устройств видео- и аудио-техники и т. д. В связи с тем, что в последние годы резко возросли цены на редкоземельные металлы, и в том числе на Nd, исследователи ищут новые подходы к удешевлению технологии получения магнитов Nd-Fe-B. Недавно Masato Sagawa (Япония) предложил новый процесс, который характеризуется исключением этапа прессования порошков из технологии получения ПМ [1]. Этот процесс получил название *pressless process* (PLP).

В процессе получения магнитов методом PLP повышение насыпной плотности порошка ρ_n в контейнерах будет способствовать повышению α_r (относительная плотность спеченного магнита к плотности литого сплава), но препятствовать приближению α_t (степень текстуры зерен фазы Nd₂Fe₁₄B) к 100 %. Таким образом, необходимо найти оптимальное соотношение между α_r и степенью текстуры. Это соотношение может быть достигнуто правильным выбором параметров текстурирования порошков, включающих напряженность импульсного поля H_m , количество N , и направление прикладываемых импульсов.

При наведении магнитной текстуры в порошке оси легкого намагничивания магнитодноосных частиц выстраиваются в направлении поля, но текстурированию препятствуют силы трения, которые тем больше, чем больше плотность. С целью уменьшения сил трения в настоящей работе применяли внутреннюю смазку. В качестве смазки использовали стеарат цинка. Задача эксперимента состояла в сравнении текстуремости

порошков с заданной насыпной плотностью без смазки и с введением стеарата цинка.

Были выполнены эксперименты по текстурованию свободных порошков с одновременным измерением их петель гистерезиса в замкнутой цепи установки «Permagraph». Это позволяло достаточно простым методом получить большой объем информации об особенностях процесса текстурования, не проводя последующее спекание порошков.

Для исследования был выбран сплав состава 31.1Nd-67.9Fe-1.0B (масс. %) полученный методом strip casting на фирме SANTOKU Co.(Япония).

Сплав был подвергнут водородному охрупчиванию. После грубого измельчения к порошку сплава был добавлен порошок стеарата цинка в количестве 0,15 масс. %. Затем смесь порошков измельчали в вибрационной мельнице в среде толуола в течение 70 мин при соотношении массы шаров к массе порошка 14/1. Средний размер частиц порошка, определенный по методу Фишера составил 3,2 мкм. Порошок сушили на воздухе и засыпали в контейнеры со следующими насыпными плотностями $\rho_n = 2,5; 2,7; 2,9; 3,1 \text{ г/см}^3$. Контейнеры представляли собой кольца из текстолита с верхней и нижней крышками. Для осуществления непрерывности магнитного потока в замкнутой магнитной цепи установки Permagraph, крышки изготавливали из алюминиевой фольги.

В процессе намагничивания и ориентации частиц порошка измерялась петля гистерезиса (рис. 1). Калибровка канала измерения намагниченности гистерезисграфа была проведена по образцу из чистого Ni. Кривые построены в пересчете на 100 % плотность сплава Nd-Fe-B $\rho_c = 7,6 \text{ г/см}^3$ путем умножения измеренной намагниченности на коэффициент $K = \rho_c / \rho_n$. Чтобы качественно оценить степень текстуры порошков, сравнивали значения $4\pi M$ в поле 10 кЭ на нисходящих участках петли гистерезиса, обозначенные как B_{10} .

Порошки, предварительно ориентированные в электромагните, дополнительно текстуровали в импульсном магнитном поле, прикладывая последовательно по одному импульсу с $H_m = 30 \text{ кЭ}, 46 \text{ кЭ}, 70 \text{ кЭ}$, причем поле напряженностью 70 кЭ было дополнительно приложено четыре раза, каждый раз с противоположным направлением вектора напряженности магнитного поля и снова измеряли петли гистерезиса (кривые 2–4 на рис. 1).

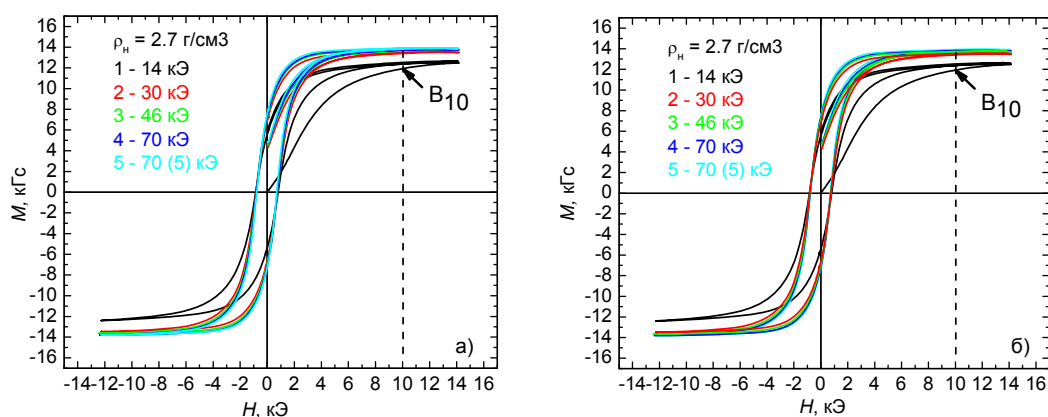


Рис. 1. Пример петли гистерезиса порошка с насыпной плотностью $2,7 \text{ г/см}^3$: *а* – без стеарата цинка; *б* – со стеаратом цинка

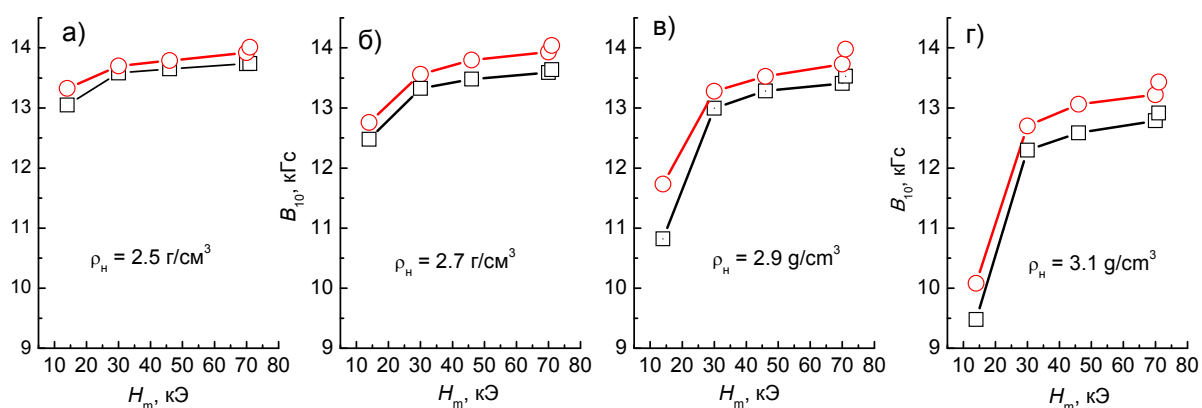


Рис. 2. Зависимость величины B_{10} от напряженности текстурующего поля H_m для порошка Nd-Fe-B с насыпной плотностью: *а* – $2,5 \text{ г/см}^3$; *б* – $2,7 \text{ г/см}^3$; *в* – $2,9 \text{ г/см}^3$; *г* – $3,1 \text{ г/см}^3$

Результаты измерения степени текстуры (B_{10}) в зависимости от напряженности текстурующего поля суммированы на рис. 1. Зависимости $B_{10}(H_m)$ имеют тенденцию к монотонному росту. С увеличением насыпной плотности возрастают силы трения порошка и, как следствие, уменьшается B_{10} при $H_m = 14 \text{ кЭ}$. Однако приложение импульсных полей с увеличивающихся H_m резко повышает степень текстуры, причем наиболее эффективный прирост проявляется в поле напряженностью 70 кЭ , прикладываемое пять раз с противоположным направлением вектора напряженности магнитного поля. Добавка стеарата цинка в порошки уменьшает силы трения между частицами порошка, что позволило увеличить значения B_{10} более чем на 2% .

Таким образом, показано, что добавка порошка стеарата цинка в качестве смазки повышает величину B_{10} , и это особенно выгодно проявляется при сравнительно высоких насыпных плотностях $2,9 \text{ г/см}^3$, $3,1 \text{ г/см}^3$ (рис. 2), что благоприятствует получению из таких порошков

спеченных магнитов как с высокой плотностью, так и высокой остаточной намагниченностью.

Список использованных источников

1. *Sagawa M., Fujimura S., Togawa N., Yamamoto H., and Matsuura Y.* New Material for Permanent Magnet Materials on a Base of Nd and Fe // J. Appl. Phys. 1984. V. 55, № 6. P. 2083–2087.